



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
06.05.2020 Patentblatt 2020/19

(51) Int Cl.:
G01B 7/02 (2006.01) B64G 1/64 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **18203963.6**

(22) Anmeldetag: **01.11.2018**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(72) Erfinder:
• **Mädiger, Dr. Bernd**
28199 Bremen (DE)
• **Lübke, Verena**
28199 Bremen (DE)
• **Gries, Florian**
28199 Bremen (DE)

(71) Anmelder: **Airbus Defence and Space GmbH**
82024 Taufkirchen (DE)

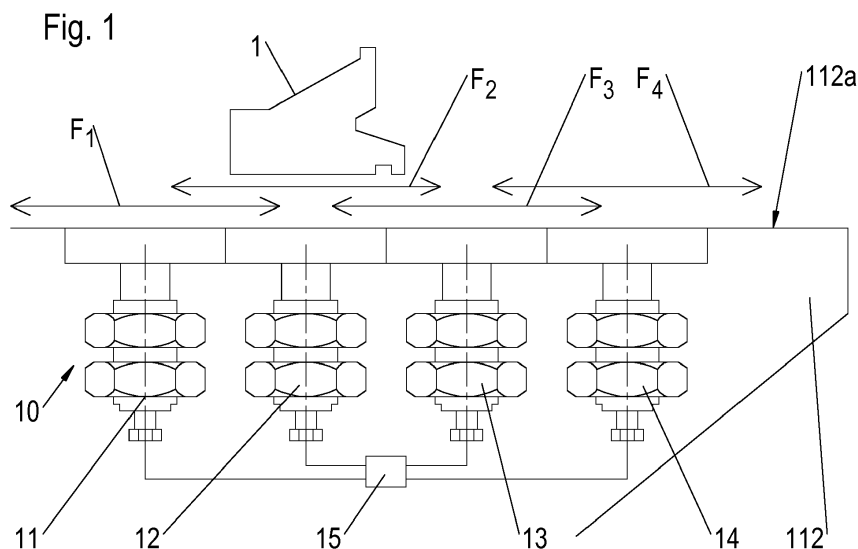
(74) Vertreter: **Marschall, Stefan**
Elbpatent
Marschall & Partner PartGmbH
Jessenstrasse 4
22767 Hamburg (DE)

(54) **SENSOREINRICHTUNG, EINFANGEINRICHTUNG, BESTIMMUNGSVERFAHREN UND EINFANGVERFAHREN ZUM BESTIMMEN EINER RELATIVEN POSITION BZW. EINFANGEN EINES OBJEKTES IM WELTRAUM**

(57) Offenbart ist Sensoreinrichtung (10) zur Bestimmung einer relativen Position eines Objekts (1) im Weltraum in Bezug auf die Sensoreinrichtung. Die Sensoreinrichtung umfasst eine Mehrzahl an Wirbelstromsensoren (11, 12, 13, 14), deren Erfassungsbereiche sich mindestens teilweise überlappen. Weiterhin umfasst die Sensoreinrichtung eine Auswertungseinheit (15), die dazu eingerichtet ist, aus von den einzelnen Wirbelstromsensoren jeweils erfassten Signalen (s_{1a} , s_{1b} , s_{1c} , s_{2b} , s_{2c} , s_{3b} , s_{3c}) die relative Position zu bestimmen.

Offenbart ist ferner eine Einfangvorrichtung (100) mit einer Greifeinrichtung (110), einer Führungseinrichtung (120) für die Greifeinrichtung und einer Sensoreinrichtung (10).

Weiterhin offenbart sind ein Bestimmungsverfahren zum Bestimmen einer relativen Position eines Objekts (1) im Weltraum in Bezug auf eine Sensoreinrichtung (10), und ein Einfangverfahren zum Einfangen eines Objekts im Weltraum.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Sensoreinrichtung und ein Bestimmungsverfahren jeweils zum Bestimmen einer relativen Position eines Objekts im Weltraum relativ zur (d.h. in Bezug auf die) Sensoreinrichtung. Darüber hinaus betrifft die Erfindung eine Einfangvorrichtung und ein Einfangverfahren jeweils zum Einfangen eines Objektes im Weltraum.

[0002] Das Einfangen von Objekten wie insbesondere Satelliten oder Weltraumschrott im Weltraum bedeutet ein Ergreifen und Festhalten des jeweiligen Objekts durch eine entsprechende Einrichtung eines Raumflugkörpers, die insbesondere (selbst) ein Satellit sein kann. Das einzufangende Objekt wird damit also an den Raumflugkörper angekoppelt, der damit beispielsweise in der Lage ist, je nach Objekttyp Reparaturen und/oder Wartungsoperationen wie insbesondere ein Nachtanken und/oder einen Nutzlastaustausch an einem Satelliten durchzuführen oder auch das eingefangene Objekt abzutransportieren, beispielsweise in einen jeweils vorteilhafteren Orbit.

[0003] Notwendig ist für das automatische Einfangen eine präzise Bestimmung einer jeweils aktuellen relativen Position des Objektes in Bezug auf ein Element der einfangenden Vorrichtung, insbesondere die Bestimmung eines Abstandes einer Greifeinrichtung der Vorrichtung vom Objekt.

[0004] Dazu werden herkömmlicherweise z.B. Lichtstreifensensoren eingesetzt, die einen jeweiligen Abstand durch Bestimmung eines Versatzes der Projektion einer Laserlinie auf das Objekt mit einem Kamerabild ermitteln. Die Auswertung erfordert dabei jedoch einen erheblichen Bildverarbeitungsaufwand, zudem wird die Projektion der Laserlinie ein raumfahrtqualifizierter Laser benötigt, der für den erforderlichen Wellenlängenbereich nur eingeschränkt verfügbar ist.

[0005] Eine weitere Möglichkeit zur Bestimmung eines Abstandes ist durch Infrarotsensoren gegeben, die ebenfalls eine Entfernungsmessung durch Triangulation durchführen. Dabei besteht jedoch eine hohe Abhängigkeit von der jeweiligen Sonnenillumination, zudem erfordert die punktförmige Messung eine genaue Ausrichtung des Lichtstrahls auf einen jeweiligen Messpunkt, was oft schwer zu realisieren ist.

[0006] Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Technik bereitzustellen, mit der auf einfache und von jeweiligen Lichtverhältnissen unabhängige Weise eine jeweilige relative Position eines Objekts zu einer vorgegebenen Einrichtung bestimmt werden kann. Der Erfindung liegt weiterhin die Aufgabe zugrunde, eine Technik zum Einfangen von Objekten im Weltraum zu verbessern.

[0007] Die Aufgaben werden gelöst durch eine Sensoreinrichtung gemäß Anspruch 1, eine Einfangvorrichtung nach Anspruch 4, ein Bestimmungsverfahren nach Anspruch 7 und ein Einfangverfahren gemäß Anspruch 10. Vorteilhafte Ausführungsformen sind in den Unteransprüchen, der Beschreibung und den Figuren offenbart.

[0008] Eine erfindungsgemäße Sensoreinrichtung dient der Bestimmung einer (jeweils aktuellen) relativen Position eines Objekts im Weltraum in Bezug auf die Sensoreinrichtung. Das Objekt kann beispielsweise Weltraumschrott oder ein funktionsfähiger Satellit sein. Die Bestimmung kann insbesondere die Bestimmung eines (jeweils aktuellen) Abstandes des Objekts bzw. eines zum Objekt gehörigen Elementes (insbesondere eines zu einem Satelliten gehörigen Launch-Adapter-Rings) von der Sensoreinrichtung und/oder von einem mit der Sensoreinrichtung verbundenen Element wie insbesondere einer Greifeinrichtung zum Ergreifen des Objekts umfassen.

[0009] Die Sensoreinrichtung umfasst eine Mehrzahl an (vorzugsweise gleichartigen) Wirbelstromsensoren, deren Erfassungsbereiche sich mindestens teilweise überlappen (d.h. überschneiden); als "Erfassungsbereich" eines Wirbelstromsensors wird dabei in dieser Schrift der Raum bezeichnet, in dem der Wirbelstromsensor ein Objekt detektieren kann.

[0010] Weiterhin umfasst eine erfindungsgemäße Sensoreinrichtung eine Auswertungseinheit, die aus von den einzelnen Wirbelstromsensoren jeweils erfassten Signalen die relative Position bestimmt.

[0011] Vorzugsweise sind die Wirbelstromsensoren parallel zueinander angeordnet, beispielsweise jeweils einer gemeinsamen Ebene zugewandt. Insbesondere können die Wirbelstromsensoren vorzugsweise so angeordnet sein, dass ihre jeweiligen Erfassungsbereiche entlang einer gemeinsamen Ebene verschoben zueinander sind.

[0012] Ein erfindungsgemäßes Bestimmungsverfahren dient dem Bestimmen einer (jeweils aktuellen) relativen Position eines Objekts, wobei eine erfindungsgemäße Sensoreinrichtung nach einer der in dieser Schrift offenbarten Ausführungsformen als Bezugssystem dient und für das Bestimmen verwendet wird. Zwei Wirbelstromsensoren der Sensoreinrichtung mit einander überlappenden jeweiligen Erfassungsbereichen erfassen dabei je mindestens ein vom Objekt hervorgerufenen Signal. Die Signale werden ausgewertet und damit die relative Position des Objekts in Bezug auf die Sensoreinrichtung bestimmt. Das Objekt kann (wiederum) beispielsweise Weltraumschrott oder ein funktionsfähiger ein Satellit sein. Das Bestimmen der relativen Position kann insbesondere ein Bestimmen eines Abstandes des Objekts bzw. eines zum Objekt gehörigen Elementes (insbesondere eines zu einem Satelliten gehörigen Launch-Adapter-Rings) von der Sensoreinrichtung und/oder von einer mit dieser verbundenen Einrichtung umfassen.

[0013] Ein erfindungsgemäßes Bestimmungsverfahren kann ein vor dem Erfassen erfolgreiches Heranführen der Sensoreinrichtung an das Objekt umfassen, beispielsweise so weit, dass das Objekt in den Erfassungsbereich mindestens eines der Wirbelstromsensoren eintritt. Im Fall, dass das Objekt ein Satellit mit einem Launch-Adapter-Ring ist, kann das Bestimmungsverfahren ein Heranführen der Sensoreinrichtung an eine Grundfläche (d.h. an eine Ebene, einer

Außenumgebung zugewandte Oberfläche) des Launch-Adapter-Rings derart umfassen, dass die Grundfläche im Erfassungsbereich mindestens eines der Wirbelstromsensoren ist und dieser Wirbelstromsensor der Grundfläche zugewandt ist.

[0014] Der Einsatz von Wirbelstromsensoren bei einer erfindungsgemäßen Sensoreinrichtung bzw. einem erfindungsgemäßen Bestimmungsverfahren erlaubt eine Positionsbestimmung, insbesondere eine Abstandbestimmung unabhängig von jeweiligen Lichtverhältnissen und mit geringem Datenverarbeitungsaufwand. Darüber hinaus ermöglicht er einen Aufbau der Sensoreinrichtung unter Vermeidung hochintegrierter digitaler Elektronik. Insbesondere ist eine erfindungsgemäße Sensoreinrichtung damit robust gegenüber Umgebungseinflüssen im geostationären Orbit und für verschiedene Redundanzniveaus erweiterbar, und ein erfindungsgemäßes Bestimmungsverfahren ist entsprechend anwendbar. Die Überlappung der Erfassungsbereiche der Wirbelstromsensoren erlaubt eine präzise Bestimmung der relativen Position trotz bzw. unter Berücksichtigung jeweils auftretender Streuungen in der Messempfindlichkeit der einzelnen Wirbelstromsensoren.

[0015] Es versteht sich, dass die relative Position des Objekts in Bezug auf die Sensoreinrichtung durch Bewegung eines der beiden Elemente geändert wird. Die jeweils bestimmte relative Position ist also jeweils eine aktuelle und kann nach einer derartigen Bewegung neu bestimmt werden.

[0016] Ein erfindungsgemäßes Bestimmungsverfahren kann jeweils auf einen Aufruf hin (situationsbedingt) durchgeführt und/oder jeweils in vorgegebenen Zeitabständen wiederholt werden. Gemäß vorteilhaften Ausführungsformen wird ein erfindungsgemäßes Bestimmungsverfahren mindestens zeitweise kontinuierlich durchgeführt, insbesondere während einer Bewegung von Objekt und Sensoreinrichtung relativ zueinander, so dass dann eine jeweils bestimmte relative Position kontinuierlich aktualisiert wird.

[0017] Gemäß vorteilhaften Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung ist die Auswertungseinheit dazu eingerichtet, Signale, die (beispielsweise gleichzeitig) von verschiedenen der Wirbelstromsensoren erfasst wurden, miteinander zu vergleichen und die relative Position unter Berücksichtigung mindestens eines so erhaltenen Vergleichsergebnisses zu bestimmen. Die Betrachtung des Vergleichsergebnisses, beispielsweise eines Verhältnisses der Signale zueinander und vorzugsweise unter Berücksichtigung eines jeweiligen Musters, in dem die Wirbelstromsensoren zueinander angeordnet sind, ermöglicht eine besonders präzise Bestimmung der relativen Position des Objektes, weil damit Mängel in der Messempfindlichkeit der einzelnen Wirbelstromsensoren kompensiert werden können.

[0018] Insbesondere kann in einem erfindungsgemäßen Bestimmungsverfahren eine Sensoreinheit mit einer derartigen Auswertungseinheit eingesetzt werden. Das Bestimmungsverfahren kann dann zusätzlich ein Bewegen der Sensoreinrichtung relativ zum einzufangenden Objekt in eine optimierte Lage umfassen, wobei die optimierte Lage dadurch gegeben sein kann, dass mindestens zwei Wirbelstromsensoren der Sensoreinrichtung (vorzugsweise gleichzeitig) jeweilige Signale erfassen, die ein vorgegebenes Verhältnis zueinander haben, beispielsweise gleich sind. Das Bestimmen der relativen Position kann dann in der optimierten Lage der Sensoreinrichtung erfolgen. Damit kann vorteilhaft gewährleistet werden, dass die Bestimmung der relativen Position in einer Konstellation von Sensoreinrichtung und Objekt zueinander erfolgt, in der die jeweilige Messgenauigkeit der einzelnen Wirbelstromsensoren bekannt ist.

[0019] Gemäß bevorzugten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung umfasst die Sensoreinrichtung mindestens drei oder sogar mindestens vier (gemäß einem speziellen Ausführungsbeispiel genau vier) Wirbelstromeinrichtungen, die in einer (geraden) Reihe angeordnet sind (die hier auch als Wirbelstromsensorenreihe bezeichnet wird). Vorzugsweise überlappen sich dabei die Erfassungsbereiche jeweils in der Reihe benachbarter Wirbelstromsensoren. Vorzugsweise sind die Wirbelstromsensoren in der Reihe gleichmäßig beabstandet, so dass also jeweils in der Reihe benachbarte Wirbelstromsensoren alle denselben Abstand voneinander haben.

[0020] Eine derartige Anordnung ermöglicht ein besonders einfaches Abtasten des jeweiligen Objekts mit der Sensoreinrichtung, indem diese relativ zum Objekt bewegt wird. So kann insbesondere auf einfache Weise eine optimierte Lage von Objekt und Sensoreinrichtung relativ zueinander wie oben beschrieben eingerichtet werden.

[0021] Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Bestimmungsverfahrens wird eine derart ausgebildete Sensoreinrichtung verwendet, deren Auswertungseinheit zudem - wie oben erwähnt - dazu eingerichtet ist, von den verschiedenen Wirbelstromsensoren jeweils erfasste Signale miteinander zu vergleichen. Vorzugsweise wird dabei die Sensoreinrichtung relativ zum Objekt so bewegt, dass zwei Wirbelstromsensoren einer Reihe, zwischen denen (in der Reihe) ein weiterer (vorzugsweise genau ein weiterer) Wirbelstromsensor angeordnet ist, jeweils Signale erfassen, die ein vorgegebenes Verhältnis zueinander haben, beispielsweise gleich sind: Die beiden Wirbelstromsensoren bestimmen dann also insbesondere eine optimierte Lage wie oben definiert. Auf diese Weise kann eine relative Lage des Objekts zum weiteren Wirbelstromsensor und damit zu dessen Erfassungsbereich eingeschätzt werden, woraus sich die (aktuelle) Präzision eines (oder mehrerer) vom weiteren Wirbelstrom erfassten Signals ergibt. Ein derartiges Signal wird dann vorzugsweise zur Bestimmung der relativen Position herangezogen.

[0022] Beispielsweise kann bei regelmäßig in der Reihe angeordneten, gleichartigen Wirbelstromsensoren und einer optimierten Lage, in der die zum weiteren Wirbelstromsensor benachbarten Wirbelstromsensoren gleiche Signale erfassen, geschlossen werden, dass sich das Objekt in einem Bereich befindet, in dem der weitere Wirbelstromsensor höchste Messempfindlichkeit und damit -genauigkeit aufweist. Die relative Position kann dann aus einem oder mehreren

Signalen bestimmt werden, die der weitere Wirbelstromsensor erfasst, während Sensoreinrichtung und Objekt in der optimierten Lage zueinander sind.

[0023] Eine erfindungsgemäße Einfangvorrichtung dient dem (vorzugsweise robotischen) Einfangen von Objekten (beispielsweise Weltraumschrott und/oder Satelliten) im Weltraum. Die Einfangvorrichtung umfasst eine Greifeinrichtung zum Ergreifen des einzufangenden Objekts (beispielsweise an einem Element des Objekts; im Falle, dass das Objekt ein Satellit ist, kann das Element beispielsweise dessen Launch-Adapter-Ring sein, an dem anzugreifen die Greifeinrichtung dann also eingerichtet sein kann).

[0024] Darüber hinaus umfasst die Einfangvorrichtung eine Führungseinrichtung (beispielsweise einen Roboterarm), mit der die Greifeinrichtung bewegt, insbesondere dem Objekt angenähert werden kann, sowie eine erfindungsgemäße Sensoreinrichtung gemäß einer der in dieser Schrift offenbarten Ausführungsformen. Vorzugsweise weist die Führungseinrichtung mindestens oder genau zwei Freiheitsgrade bezüglich ihrer Bewegbarkeit auf.

[0025] Ein erfindungsgemäßes Einfangverfahren dient entsprechend dem (vorzugsweise robotischen) Einfangen eines Objekts im Weltraum. Dabei wird eine erfindungsgemäße Einfangvorrichtung gemäß einer der in dieser Schrift offenbarten Ausführungsformen eingesetzt. Das Verfahren umfasst das Bestimmen einer relativen Position des jeweils einzufangenden Objekts im Weltraum in Bezug auf eine Sensoreinrichtung der Einfangvorrichtung, wobei das Bestimmen im Wege einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Bestimmungsverfahrens erfolgt. Weiterhin umfasst das Einfangverfahren das Ergreifen des einzufangenden Objektes (z.B. an einem Element des Objekts) mit einer Greifeinrichtung der Einfangvorrichtung. Das Objekt kann beispielsweise ein (insbesondere funktionsfähiger) Satellit oder Weltraumschrott sein.

[0026] Vorzugsweise umfasst eine erfindungsgemäße Einfangvorrichtung eine Steuerung, die dazu eingerichtet ist, eine durch die Führungseinrichtung ausgeführte Bewegung der Greifeinrichtung und/oder einen durch die Greifeinrichtung ausgeführten Greifvorgang auf Grundlage mindestens einer durch die Sensoreinrichtung bestimmten relativen Position des jeweiligen Objekts zur Sensoreinrichtung zu regeln. Die mindestens eine relative Position kann dabei insbesondere einen Abstand des Objektes von der Sensoreinrichtung umfassen und/oder in eine relative Position (insbesondere einen Abstand) des Objekts zur (bzw. von der) Greifeinrichtung umgerechnet werden, z.B. unter Berücksichtigung von Daten zur jeweiligen relativen Position von Greifeinrichtung und Sensoreinrichtung zueinander.

[0027] Insbesondere vorteilhaft ist eine Variante eines erfindungsgemäßen Einfangverfahrens, bei der die Sensoreinrichtung wie oben beschrieben relativ zum Objekt in eine optimierte Lage bewegt und die relative Position in dieser optimierten Lage bestimmt wird. Das Einfangverfahren umfasst dann vorzugsweise weiterhin ein Annähern der Greifeinrichtung an das Objekt unter Beibehaltung des vorgegebenen Verhältnisses der von den mindestens zwei Wirbelstromsensoren erfassten Signale. Sensoreinrichtung und Objekt bleiben bei diesem Annähern also in einer optimierten Lage zueinander, während sich ihr Abstand voneinander verringert. Auf diese Weise kann die einmal ermittelte bzw. eingestellte optimierte Lage, in der die Sensoreinrichtung besonders präzise ist, für den Greifvorgang genutzt werden.

[0028] Gemäß bevorzugten Ausführungsformen einer erfindungsgemäßen Einfangvorrichtung ist die Sensoreinrichtung in ein Halteelement der Greifeinrichtung integriert, wobei das Halteelement eine Anliegefläche aufweist, die dazu eingerichtet ist, beim Einfangen (vorzugsweise mit flächigem Kontakt) an eine Oberfläche eines jeweils einzufangenden Objekts angelegt zu werden. Die Anliegefläche ist vorzugsweise eben ausgebildet. Im Fall, dass das einzufangende Objekt ein Satellit ist, kann die genannte Oberfläche beispielsweise ein Bereich einer ebenen Grundfläche eines Launch-Adapter-Rings des Satelliten sein. Zum Halten des Objektes kann die Greifeinrichtung bei derartigen Ausführungsformen vorzugsweise einen Klemmfinger umfassen, der dazu eingerichtet ist, das Element gegen die Anliegefläche zu pressen; ein erfindungsgemäßes Einfangverfahren kann dann ein solches Pressen umfassen.

[0029] Ein erfindungsgemäßes Einfangverfahren, bei dem eine Einfangvorrichtung, deren Greifeinrichtung eine Anliegefläche aufweist, eingesetzt wird, kann ein Annähern der Anliegefläche und einer Oberfläche des einzufangenden Objektes aneinander sowie ein Halten der Oberfläche in (beispielsweise flächigem) Kontakt zur Anliegefläche umfassen.

[0030] Derartige Ausführungsformen ermöglichen ein besonders behutsames Einfangen, in denen unbeabsichtigte Impulsübertragungen auf das einzufangende Objekt, die in der Schwerelosigkeit gravierende Auswirkungen haben, minimiert oder sogar vermieden werden können.

[0031] Im Folgenden werden bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand von Zeichnungen näher erläutert. Es versteht sich, dass einzelne Elemente und Komponenten auch anders kombiniert werden können als dargestellt. Bezugszeichen für einander entsprechende Elemente sind figurenübergreifend verwendet und werden ggf. nicht für jede Figur neu beschrieben.

[0032] Es zeigen schematisch:

Figur 1: eine exemplarische erfindungsgemäße Sensoreinrichtung und ein Objekt in einander überlappenden Erfassungsbereichen der Wirbelstromsensoren;

Figur 2: eine erfindungsgemäße Einfangvorrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel; und

Figuren 3a, 3b, 3c: ein Objekt in verschiedenen relativen Positionen (und damit in Bereichen unterschiedlicher Messgenauigkeiten von Wirbelstromsensoren) in Bezug auf eine exemplarische erfindungsgemäße Sensoreinrichtung, entsprechend jeweiligen Phasen eines exemplarischen Bestimmungsverfahrens.

5

[0033] In Figur 1 ist eine Sensoreinrichtung 10 gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung zusammen mit einem exemplarischen Objekt 1 dargestellt, dessen relative Position in Bezug auf die Sensoreinrichtung mittels selbiger bestimmt werden kann.

10

[0034] Die Sensoreinrichtung 10 ist dabei vorliegend in ein Halteelement 112 einer Greifeinrichtung einer erfindungsgemäßen Einfangvorrichtung integriert, die in der Figur 2 dargestellt ist und weiter unten beschrieben wird.

[0035] Im in der Figur 1 gezeigten Beispiel umfasst die Sensoreinrichtung 10 vier gleichartige Wirbelstromsensoren 11, 12, 13, 14, die vorliegend in regelmäßigen Abständen in einer Wirbelstromsensorenreihe angeordnet und alle in gleicher Weise einer Anliegefläche 112a des Halteelements 112 zugewandt sind, die dazu eingerichtet ist, beim Einfangen eines Objektes (vorzugsweise mit flächigem Kontakt) an eine Oberfläche des Objekts angelegt zu werden.

15

[0036] Jeder der Wirbelstromsensoren 11, 12, 13, 14 ist mit einer schematisch dargestellten Auswertungseinheit 15 der Sensoreinrichtung 10 verbunden, die dazu eingerichtet ist, aus den von den einzelnen Wirbelstromsensoren jeweils erfassten Signalen eine jeweils aktuelle relative Position des Objekts 1 in Bezug auf die Sensoreinrichtung 10 (und damit vorzugsweise in Bezug auf die Anliegefläche 112a) zu bestimmen.

20

[0037] Die Wirbelstromsensoren weisen jeweils einen Erfassungsbereich auf. Dessen jeweilige Erstreckung F_1 , F_2 , F_3 , F_4 in Richtung der Reihe, in der die Wirbelstromsensoren angeordnet sind, und parallel zur Anliegefläche 112a ist in der Figur 1 durch entsprechende Doppelpfeile gekennzeichnet. Wie in der Figur 1 zu erkennen ist, überlappen (d.h. überschneiden) sich die Erfassungsbereiche von je zwei in der Reihe benachbarten Wirbelstromsensoren.

25

[0038] Im in der Figur 1 (und ebenfalls in den Figuren 3a - 3c) gezeigten, bevorzugten Ausführungsbeispiel ist das Objekt 1 ein einzufangender Satellit, von dem in den Figuren nur dessen Launch-Adapter-Ring in einer Schnittdarstellung gezeigt ist. Eine Grundfläche, also eine ebene, nach außen weisende Oberfläche des Launch-Adapter-Ringes ist vorliegend der Sensoreinrichtung zugewandt und parallel zur Anliegefläche 112a angeordnet.

30

[0039] In der dargestellten Situation befindet sich das Objekt 1 zudem zumindest teilweise innerhalb jedes der Erfassungsbereiche der Wirbelstromsensoren 11, 12 und 13, die somit alle jeweilige Signale erfassen. Aufgrund der symmetrischen Lage sind die von den Wirbelstromsensoren 11 und 13 erfassten Signale dabei vorzugsweise gleich, so dass aus einem Vergleich der jeweiligen Signale, den die Auswertungseinheit 15 vorzugsweise vornimmt, automatisch geschlossen werden kann, dass sich das Objekt in einem zentralen Bereich des Erfassungsbereichs des Wirbelstromsensors 12 befindet. So kann erkannt werden, dass die vom Wirbelstromsensor 12 erfassten Signale in dieser Situation besonders genau sind. Bei der Bestimmung der relativen Position des Objekts 1 werden diese Signale dann vorzugsweise entsprechend berücksichtigt.

35

[0040] Figur 2 zeigt schematisch eine erfindungsgemäße Einfangvorrichtung 100, mit der Objekte im Weltraum eingefangen (also insbesondere ergriffen und gehalten) werden können. Die Einfangvorrichtung umfasst eine Führungseinrichtung 120, die mit ihren Füßen 121 an einem geeigneten Raumflugkörper befestigt sein oder werden kann (nicht dargestellt), und eine Greifeinrichtung 110, die dann mittels der Führungseinrichtung 120 (aufgrund darin enthaltener Gelenke 122) relativ zum Raumflugkörper bewegbar ist. Auf diese Weise kann die Greifeinrichtung ein jeweils einzufangendes Objekt angenähert werden, ehe sie dieses ergreift.

40

[0041] Die Greifeinrichtung 110 umfasst ein Halteelement 112 und einen Klemmfinger 111. Wie durch einen Pfeil gekennzeichnet, ist der Klemmfinger relativ zum Halteelement 112 beweglich. So kann der Klemmfinger ein jeweils einzufangendes bzw. eingefangenes Objekt zur Anliegefläche 112a des Halteelements 112 hinführen und/oder es an sie pressen, so dass das Objekt ergriffen bzw. festgehalten werden kann. Dabei umgreift der Klemmfinger vorzugsweise ein am Objekt hervorstehendes Element oder greift in eine Nut im Objekt ein.

45

[0042] In das Halteelement 112 ist im gezeigten Beispiel eine erfindungsgemäße Sensoreinrichtung 10 integriert, wie genauer in der Figur 1 gezeigt und oben beschrieben ist. Damit kann eine relative Position des jeweils einzufangenden Objektes zur Sensoreinrichtung und damit zur Greifeinrichtung 110 bzw. zur Anliegefläche 112a bestimmt werden. Mittels einer (nicht dargestellten) Steuerung der Einfangvorrichtung 100 kann auf Grundlage der so bestimmten jeweils aktuellen relativen Position die Greifeinrichtung und das Objekt in besonders vorteilhafter Weise aneinander herangeführt, also angenähert werden. Insbesondere können so unbeabsichtigte Impulsübertragungen auf das einzufangende Objekt, die in der Schwerelosigkeit gravierende Auswirkungen haben, minimiert oder sogar vermieden werden.

50

[0043] Im vorliegenden Ausführungsbeispiel umfasst die Einfangvorrichtung zudem eine Kontrolleinrichtung 130, die vorzugsweise dazu eingerichtet ist, den Greifvorgang und/oder die Annäherung zu kontrollieren. Die Kontrolleinrichtung 130 kann beispielsweise eine Laservorrichtung und/oder eine Kamera umfassen. Von der Kontrolleinrichtung 130 gelieferte Daten können dann ebenfalls, insbesondere in Ergänzung der Sensoreinrichtung 10 für eine Regelung des Greifvorgangs und/oder der Annäherung berücksichtigt werden. Das Vorhandensein der Sensoreinrichtung 10 ermöglicht dabei, dass die Kontrolleinrichtung 130 lediglich zum Erzeugen von Redundanz in bestimmten Situationen betrieben

55

wird, beispielsweise lediglich beim Beenden des Greifvorgangs oder im Falle eines Defekts. Insbesondere kann die Kontrolleinrichtung 130 diskontinuierlich einzuschalten sein bzw. eingeschaltet werden, so dass ein Bildverarbeitungsaufwand reduziert ist.

[0044] In den Figuren 3a - 3c sind für eine erfindungsgemäße Sensoreinrichtung mit vier in einer Reihe angeordneten Wirbelstromsensoren die jeweils zu den einzelnen Wirbelstromsensoren gehörigen Messgenauigkeiten m als Funktionsgraphen M_1 , M_2 , M_3 und M_4 in Abhängigkeit von einer jeweiligen Position x eines Objektes dargestellt; die Position x wird dabei entlang der Reihe, in der die Wirbelstromsensoren angeordnet sind, gemessen, d.h. in den Figuren 3a - 3c ist die x -Achse als sich entlang der Reihe erstreckend anzusehen.

[0045] Abhängig von den verschiedenen Positionen eines Objektes in x -Richtung, also entlang der Reihe der Wirbelstromsensoren, erfassen die einzelnen Wirbelstromsensoren unterschiedliche Signale, die jeweils zudem von einem Abstand des Objekts vom jeweiligen Wirbelstromsensor abhängen. Zur Erläuterung eines erfindungsgemäßen Bestimmungsverfahrens (s.u.) sind einige dieser Signale in den Figuren 3a - 3c jeweils unten dargestellt.

[0046] Wie den Figuren 3a - 3c zu entnehmen ist, weisen die einzelnen Wirbelstromsensoren in einem jeweils zugehörigen zentralen Zuverlässigkeitsbereich B_1 , B_2 , B_3 , B_4 entlang der x -Achse jeweils eine hohe Messgenauigkeit m auf, wohingegen die Messgenauigkeit in angrenzenden Bereichen (innerhalb eines jeweiligen Erfassungsbereichs) abfällt.

[0047] In der in der Figur 3a gezeigten Situation befindet sich das Objekt zumindest teilweise im Zuverlässigkeitsbereich B_1 , in dem ein (nicht dargestellter) erster Wirbelstromsensor eine hohe Messgenauigkeit aufweist. Das vom ersten Wirbelstromsensor erfasste Signal s_{1a} hat daher eine hohe Genauigkeit, was jedoch bei Unkenntnis der relativen Position des Objektes in Bezug auf die Sensoreinrichtung nicht erkannt werden kann. Um die entsprechende Zuverlässigkeit eines erfassten Signals auch einschätzen zu können, wird die Sensoreinheit gemäß einem vorteilhaften erfindungsgemäßen Bestimmungsverfahren daher relativ zum Objekt bewegt (vorzugsweise parallel zu einer der Sensoreinheit zugewandten Oberfläche des Objekts), und zwar so, dass zwei Wirbelstromsensoren der Reihe, zwischen denen ein weiterer Wirbelstromsensor angeordnet ist, Signale liefern, die ein vorgegebenes Verhältnis zueinander haben, beispielsweise gleich sind: Wie oben erwähnt wird eine Lage des Objekts, in der diese Bedingung erfüllt ist, in dieser Schrift als eine optimierte Lage bezeichnet.

[0048] In Figur 3b ist das Objekt 1 in einer solchen optimierten Lage L angeordnet: Die von dem (jeweils nicht dargestellten) ersten und dritten Wirbelstromsensor in der Reihe gelieferten Signale s_{1b} und s_{3b} sind dabei vorliegend gleich. Aus der bekannten Anordnung der Wirbelstromsensoren in der Reihe ergibt sich daraus im vorliegenden Beispiel, dass sich das Objekt im Zuverlässigkeitsbereich B_2 des zwischen dem ersten und dem dritten Wirbelstromsensor angeordneten zweiten Wirbelstromsensors befindet. Ein von diesem zweiten Wirbelstromsensor erfasstes Signal s_{2b} weist daher eine hohe Genauigkeit auf und kann daher zur Bestimmung der relativen Position des Objekts, insbesondere des Abstandes des Objektes von der Sensoreinrichtung vorzugsweise entsprechend berücksichtigt werden.

[0049] In Figur 3c ist dargestellt, wie das Objekt 1 gemäß einem erfindungsgemäßen Einfangverfahren insbesondere nach dem (mit Bezug zu den Figuren 3a und 3b erläuterten) Bestimmen einer (ersten) relativen Position an die Sensoreinrichtung angenähert wird: Die Annäherung ist dabei so geregelt, dass die jeweils vom ersten und vom dritten Wirbelstromsensor erfassten Signale s_{1c} , s_{3c} weiterhin ein bzw. das vorgegebene(s) Verhältnis zueinander haben, vorliegend gleich sind, so dass also das Objekt in der optimierten Lage L bleibt, dabei aber an die Sensoreinrichtung herangeführt wird, beispielsweise bis ein vom zweiten Wirbelstromsensor erfasstes Signal s_{2c} einen vorgegebenen Signalwert hat, bei dem dann eine Greifeinrichtung das Objekt erfassen, insbesondere ein Klemmfinger das Objekt gegen eine entsprechende Anliegefläche pressen kann.

[0050] Offenbart ist Sensoreinrichtung 10 zur Bestimmung einer relativen Position eines Objekts 1 im Weltraum in Bezug auf die Sensoreinrichtung. Die Sensoreinrichtung umfasst eine Mehrzahl an Wirbelstromsensoren 11, 12, 13, 14, deren Erfassungsbereiche sich mindestens teilweise überlappen. Weiterhin umfasst die Sensoreinrichtung eine Auswertungseinheit 15, die dazu eingerichtet ist, aus von den einzelnen Wirbelstromsensoren jeweils erfassten Signalen s_{1a} , s_{1b} , s_{1c} , s_{2b} , s_{2c} , s_{3b} , s_{3c} die relative Position zu bestimmen.

[0051] Offenbart ist ferner eine Einfangvorrichtung 100 mit einer Greifeinrichtung 110, einer Führungseinrichtung 120 für die Greifeinrichtung und einer Sensoreinrichtung 10.

[0052] Weiterhin offenbart sind ein Bestimmungsverfahren zum Bestimmen einer relativen Position eines Objekts 1 im Weltraum in Bezug auf eine Sensoreinrichtung 10, und ein Einfangverfahren zum Einfangen eines Objekts im Weltraum.

Bezugszeichen

[0053]

1	Objekt
10	Sensoreinrichtung
11, 12, 13, 14	Wirbelstromsensor

15	Auswertungseinheit
100	Einfangvorrichtung
110	Greifeinrichtung
111	Klemmfinger
5 112	Halteelement
112a	Anliegefläche
120	Führungseinrichtung
121	Füße der Führungseinrichtung
122	Gelenke
10 130	Kontrolleinrichtung
B ₁ , B ₂ , B ₃ , B ₄	Zuverlässigkeitsbereich eines jeweiligen Wirbelstromsensors
F ₁ , F ₂ , F ₃ , F ₄	Erstreckung eines jeweiligen Erfassungsbereichs eines jeweiligen Wirbelstromsensor- sparell zur Anliegefläche 112 in Richtung einer Wirbelstromsensorenreihe
s _{1a} , s _{1b} , s _{1c} , s _{2b} , s _{2c} , s _{3b} , s _{3c}	Signal
15 M ₁ , M ₂ , M ₃ , M ₄	Messgenauigkeits-Funktionsgraph eines jeweiligen Wirbelstromsensors

Patentansprüche

- 20 1. Sensoreinrichtung (10) zur Bestimmung einer relativen Position eines Objekts (1) im Weltraum in Bezug auf die Sensoreinrichtung, wobei die Sensoreinrichtung umfasst:
 - eine Mehrzahl an Wirbelstromsensoren (11, 12, 13, 14), deren Erfassungsbereiche sich mindestens teilweise überlappen; und
 - 25 - eine Auswertungseinheit (15), die dazu eingerichtet ist, aus von den einzelnen Wirbelstromsensoren jeweils erfassten Signalen (s_{1a}, s_b, s_{1c}, s_{2b}, s_{2c}, s_{3b}, s_{3c}) die relative Position zu bestimmen.
- 30 2. Sensoreinrichtung gemäß Anspruch 1, wobei die Auswertungseinheit (15) dazu eingerichtet ist, von verschiedenen der Wirbelstromsensoren (11, 12, 13, 14) jeweils erfasste Signale (s_{1a}, s_{1b}, s_{1c}, s_{2b}, s_{2c}, s_{3b}, s_{3c}) miteinander zu vergleichen und die relative Position unter Berücksichtigung mindestens eines so erhaltenen Vergleichsergebnisses zu bestimmen.
- 35 3. Sensoreinrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 oder 2, die mindestens drei Wirbelstromsensoren umfasst, die in einer Reihe angeordnet sind, wobei sich die Erfassungsbereiche jeweils in der Reihe benachbarter Wirbelstromsensoren (11, 12, 13, 14) überlappen.
- 40 4. Einfangvorrichtung (100) zum Einfangen von Objekten im Weltraum, die eine Greifeinrichtung (110) zum Ergreifen eines am jeweils einzufangenden Objekt angeordneten Elements, eine Führungseinrichtung (120) zum Bewegen der Greifeinrichtung und eine Sensoreinrichtung (10) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3 umfasst.
- 45 5. Einfangvorrichtung gemäß Anspruch 4, wobei die Führungseinrichtung (120) eine Steuerung umfasst, die dazu eingerichtet ist, eine durch die Führungseinrichtung ausgeführte Bewegung der Greifeinrichtung (110) und/oder einen durch die Greifeinrichtung (110) ausgeführten Greifvorgang auf Grundlage mindestens einer durch die Sensoreinrichtung (10) bestimmten relativen Position des Objekts zu regeln.
- 50 6. Einfangvorrichtung gemäß einem der Ansprüche 4 oder 5, wobei die Sensoreinrichtung (10) in ein Halteelement (112) der Greifeinrichtung (110) integriert ist, wobei das Halteelement (112) eine Anliegefläche (112a) aufweist, die dazu eingerichtet ist, beim Einfangen an eine Oberfläche eines jeweils einzufangenden Objekts (1) angelegt zu werden.
- 55 7. Bestimmungsverfahren zum Bestimmen einer relativen Position eines Objekts (1) im Weltraum in Bezug auf eine Sensoreinrichtung (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 3 mittels der Sensoreinrichtung, wobei das Bestimmungsverfahren umfasst:
 - Erfassen zumindest je eines vom Objekt (1) hervorgerufenen Signals (s_{1a}, s_{1b}, s_{1c}, s_{2b}, s_{2c}, s_{3b}, s_{3c}) durch mindestens zwei Wirbelstromsensoren (11, 12, 13, 14) der Sensoreinrichtung, die einander überlappende Erfassungsbereiche aufweisen;
 - Bestimmen der relativen Position durch Auswerten der erfassten Signale.

8. Bestimmungsverfahren gemäß Anspruch 7, wobei die Sensoreinrichtung gemäß Anspruch 2 ausgebildet ist, wobei ferner das Bestimmungsverfahren ein Bewegen der Sensoreinrichtung (10) relativ zum Objekt (1) in eine optimierte Lage (L) umfasst, in der von mindestens zwei Wirbelstromsensoren der Sensoreinrichtung erfasste Signale (s_{1b} , s_{3b} , s_{1c} , s_{3c}) ein vorgegebenes Verhältnis zueinander haben, und wobei das Bestimmen der relativen Position in der optimierten Lage (L) der Sensoreinrichtung erfolgt.
9. Bestimmungsverfahren gemäß Anspruch 8, wobei die Sensoreinrichtung die Merkmale des Anspruchs 3 aufweist, wobei die Wirbelstromsensoren, die in der optimierten Lage (L) der Sensoreinrichtung Signale in einem vorgegebenen Verhältnis zueinander erfassen, in einer Reihe mit einem dazwischen angeordneten, weiteren Wirbelstromsensor angeordnet sind und wobei zum Bestimmen der relativen Position mindestens ein Signal (s_{2b} , s_{2c}) berücksichtigt wird, das der weitere Wirbelstromsensor in der optimierten Lage Sensoreinrichtung erfasst.
10. Einfangverfahren zum Einfangen eines Objekts im Weltraum mittels einer Einfangvorrichtung (100) nach einem der Ansprüche 4 bis 6, wobei das Einfangverfahren umfasst:
 - ein gemäß einem Bestimmungsverfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 9 erfolgreiches Bestimmen einer relativen Position des einzufangenden Objekts (1) im Weltraum in Bezug auf eine Sensoreinrichtung (10) der Einfangvorrichtung (100) sowie
 - ein Ergreifen des einzufangenden Objektes (1) mit einer Greifeinrichtung (110) der Einfangvorrichtung (100).
11. Einfangverfahren gemäß Anspruch 10, wobei das Bestimmen der relativen Position gemäß einem Bestimmungsverfahren nach einem der Ansprüche 8 oder 9 erfolgt und wobei die Greifeinrichtung (110) zum Ergreifen des Objekts (1) unter Erhalt des vorgegebenen Verhältnisses der von den mindestens zwei Wirbelstromsensoren erfassten Signale an das Objekt angenähert wird.
12. Einfangverfahren gemäß einem der Ansprüche 10 oder 11, bei dem die Einfangvorrichtung (100) gemäß Anspruch 6 ausgebildet ist, wobei das Einfangverfahren ein Annähern der Anliegefläche (112a) und des einzufangenden Objektes (1) aneinander und ein Halten des Objekts in Kontakt zur Anliegefläche umfasst.

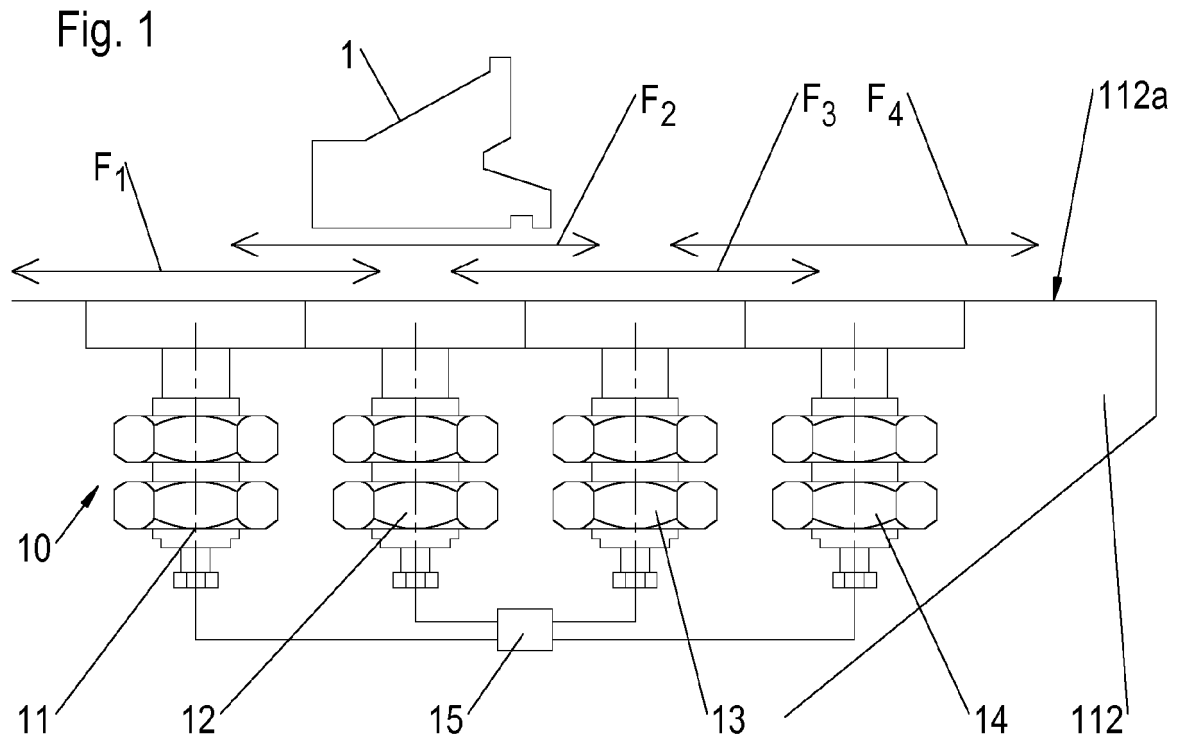


Fig. 2

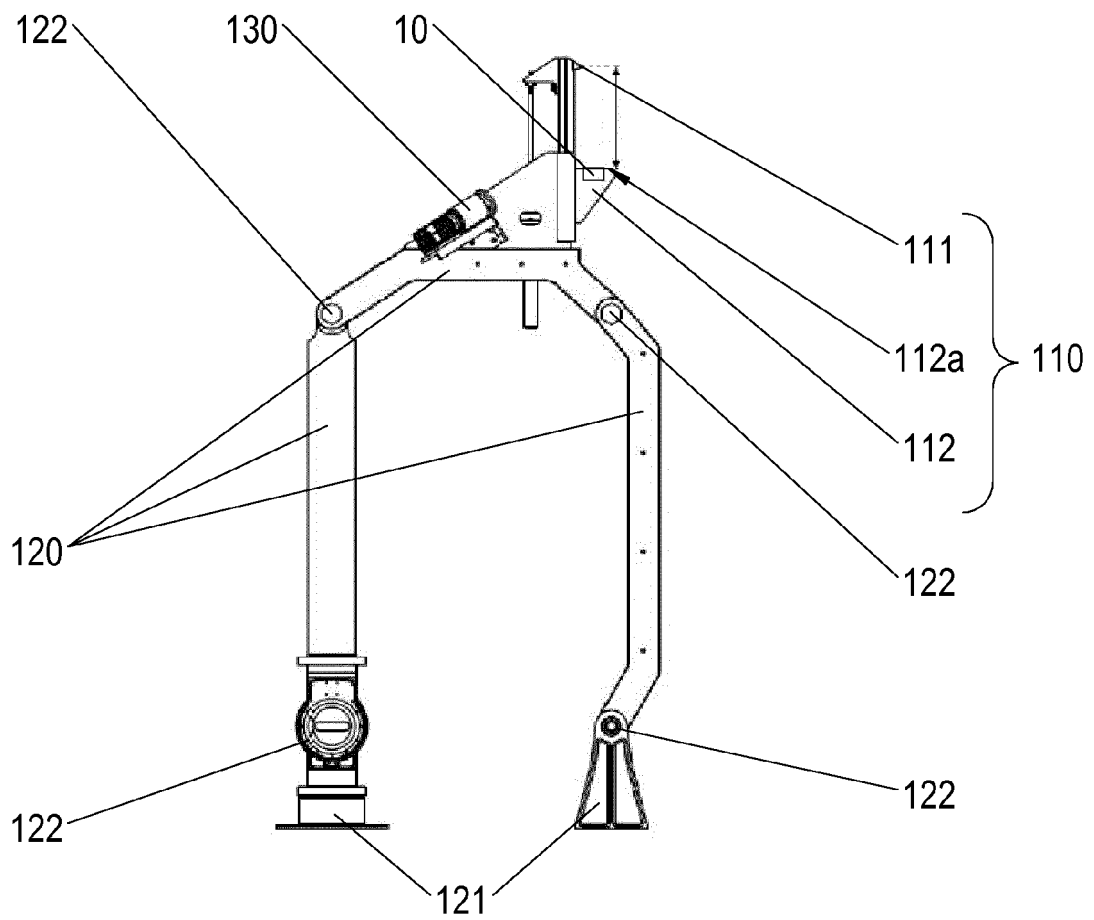


Fig. 3a

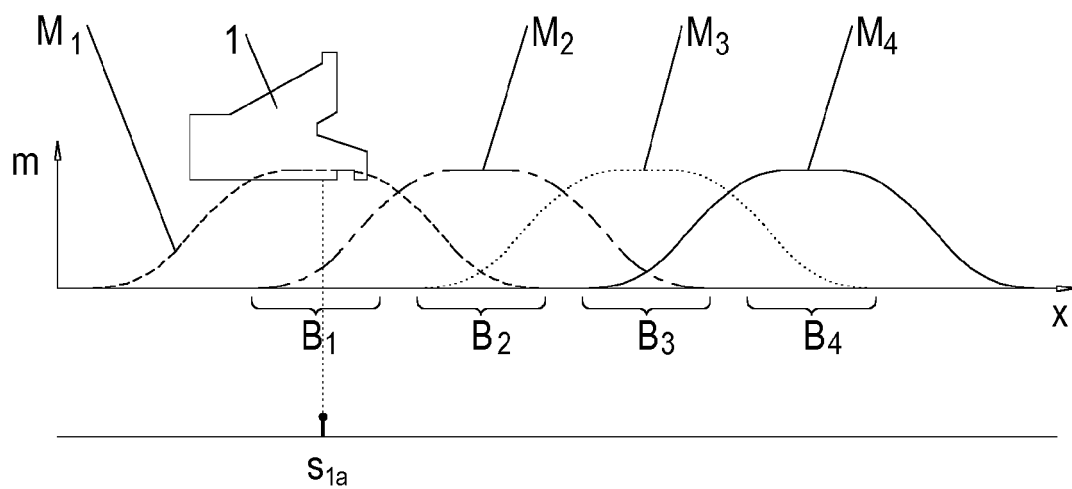


Fig. 3b

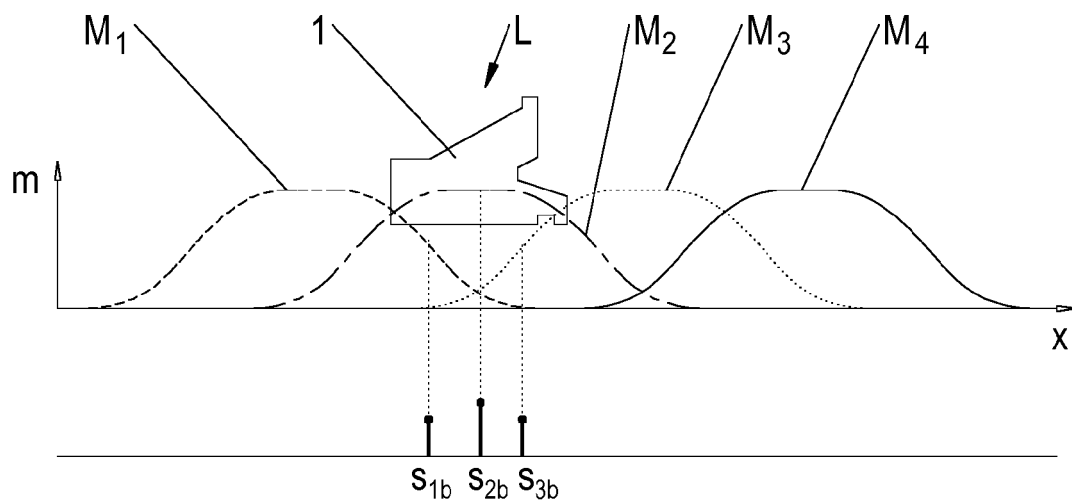
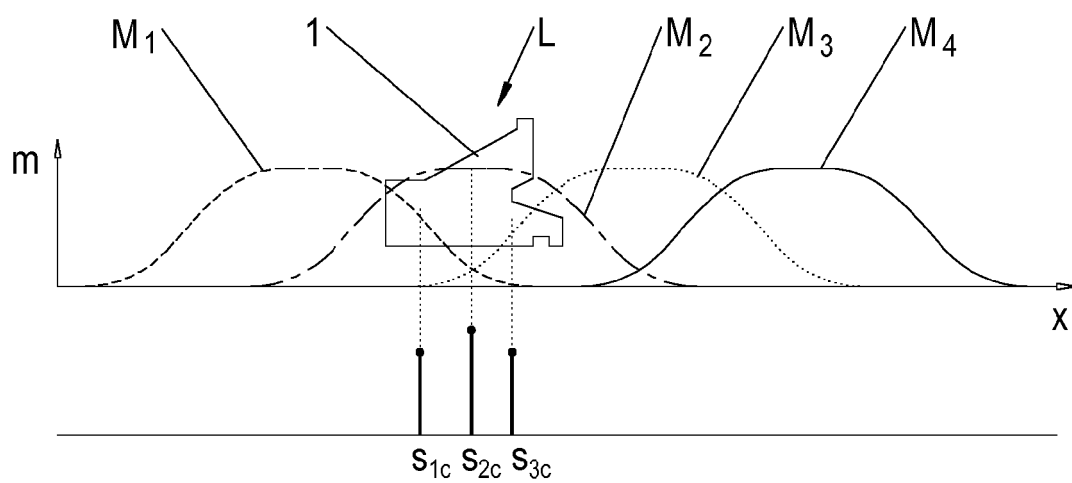


Fig. 3c





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
 EP 18 20 3963

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	US 2003/169035 A1 (CROUZEN PAULUS CAROLUS NICOLAA [NL]) 11. September 2003 (2003-09-11)	1-8, 10-12	INV. G01B7/02 B64G1/64
Y	* Zusammenfassung *	4-6,	
	* Absatz [0022] - Absatz [0091] *	10-12	
A	* Abbildungen 1-6 *	9	

X	US 5 003 260 A (AUCHTERLONIE RICHARD C [US]) 26. März 1991 (1991-03-26)	1-8, 10-12	
Y	* Zusammenfassung *	4-6,	
	* Spalte 1, Zeile 18 - Spalte 8, Zeile 2 *	10-12	
A	* Abbildungen 4-8 *	9	

X	US 2018/292235 A1 (FILATOV ALEXEI [US]) 11. Oktober 2018 (2018-10-11)	1-8, 10-12	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) G01B B64G
Y	* Zusammenfassung *	4-6,	
	* Absatz [0045] - Absatz [0092] *	10-12	
A	* Abbildungen 1-8 *	9	

Y	US 2015/314893 A1 (REMBALA RICHARD [CA] ET AL) 5. November 2015 (2015-11-05)	4-6, 10-12	
A	* das ganze Dokument *	1-3,7-9	

Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 10. Mai 2019	Prüfer Kokkonen, Jukka
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.92 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 18 20 3963

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

10-05-2019

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
15	US 2003169035 A1	11-09-2003	AT 312334 T	15-12-2005
			AU 2003214081 A1	09-09-2003
			CA 2477263 A1	04-09-2003
			CN 1639538 A	13-07-2005
			DE 60302653 T2	14-06-2006
			EP 1478899 A2	24-11-2004
			ES 2254911 T3	16-06-2006
20			JP 2005518534 A	23-06-2005
			RU 2299399 C2	20-05-2007
			US 2003169035 A1	11-09-2003
			WO 03073040 A2	04-09-2003
25	US 5003260 A	26-03-1991	KEINE	
	US 2018292235 A1	11-10-2018	KEINE	
30	US 2015314893 A1	05-11-2015	CA 2945386 A1	05-11-2015
			EP 3137379 A1	08-03-2017
			JP 6490798 B2	27-03-2019
			JP 2017520474 A	27-07-2017
			US 2015314893 A1	05-11-2015
			WO 2015164983 A1	05-11-2015
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82